

?s pn=jp 4225514  
S2 1 PN=JP 4225514  
?t 2/5

2/5/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO  
(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

03860414 \*\*Image available\*\*  
PROJECTION-TYPE ALIGNER

PUB. NO.: 04-225514 [ JP 4225514 A]  
PUBLISHED: August 14, 1992 (19920814)  
INVENTOR(s): SHIRAISHI NAOMASA/  
APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP  
(Japan)  
APPL. NO.: 02-408096 [JP 90408096]  
FILED: December 27, 1990 (19901227)  
INTL CLASS: [5] H01L-021/027; G02B-003/00; G03F-007/20; G03F-007/20  
JAPIO CLASS: 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components); 29.1 (PRECISION  
INSTRUMENTS -- Photography & Cinematography); 29.2 (PRECISION  
INSTRUMENTS -- Optical Equipment)  
JOURNAL: Section: E, Section No. 1298, Vol. 16, No. 574, Pg. 147,  
December 14, 1992 (19921214)

#### ABSTRACT

PURPOSE: To improve the resolution and the focus depth at projection exposure of a circuit pattern, etc.

CONSTITUTION: The illuminating luminous flux from a light source 1 is applied on an reticle 16 through a plurality of fly's-eye lens groups 11A, 11B, 11C, and 11D being separated from each other, and a reticule pattern 17 is projected and imaged on a wafer (photosensitive substrate) 20 by a projecting optical system 18. Each emission end side 11b of the fly's-eye lens groups 11A-11D is conjugated with the pupil 19 of the projecting optical system 18, and the center of each fly's-eye lens group 11A-11D is provided movably at the position eccentric from the optical axis AX. High resolution and large focus depth promotion can be accomplished, and also the uniformity of the distribution of the illuminance on the reticule can favorably be maintained.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-225514

(43) 公開日 平成4年(1992)8月14日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 2 B 3/00

G 0 3 F 7/20

A 7036-2K

7818-2H

5 2 1

7818-2H

7352-4M

H 0 1 L 21/30

3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平2-408096

(22) 出願日

平成2年(1990)12月27日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 白石 直正

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式

会社ニコン大井製作所内

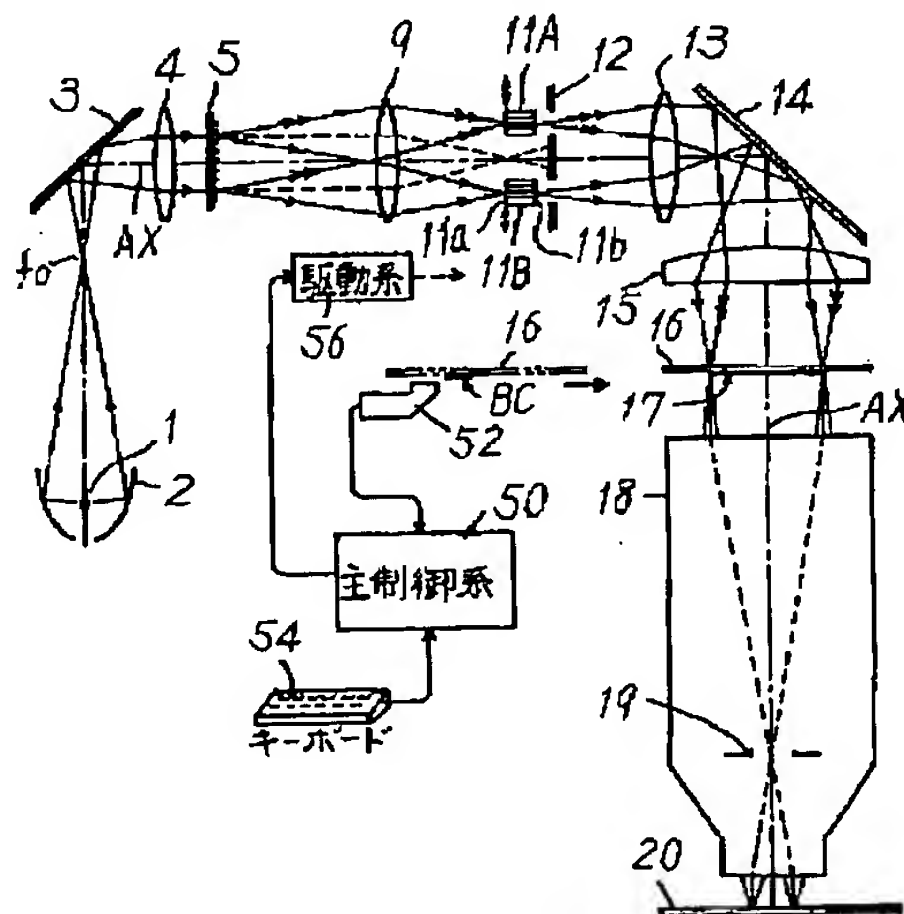
(54) 【発明の名称】 投影型露光装置

(57) 【要約】

【目的】 回路パターン等の投影露光時の解像力と焦点深度とを向上させる。

【構成】 光源1からの照明光束を、互いに分離した複数のフライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dを介してレチクル16に照射し、レチクルパターン17を投影光学系18によりウェハ(感光基板)20に結像投影する。フライアイレンズ群11A~11Dの各射出端側11bは投影光学系18の瞳19と共役であり、各フライアイレンズ群11A~11Dの中心は光軸AXから偏心した位置で可動に設けられる。

【効果】 高解像力化、大焦点深度化が達成されるとともに、レチクル上の照度分布の均一性も良好に維持される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源からの照明光をほぼ均一な強度分布に成形するとともに、該均一な照明光を周期性のパターン部分を有するマスクに照射する照明光学系と、前記マスクのパターンの像を感光基板に結像投影する投影光学系と、前記感光基板の表面を前記投影光学系の結像面近傍に配置するように前記感光基板を保持するステージとを備えた投影型露光装置において、前記照明光学系の光路中で、前記マスクのパターンのフーリエ変換相当面、もしくはその共役面の位置近傍に、互いに分離した2次光源像を形成する複数のフライアイレンズ群と；該複数のフライアイレンズ群の夫々の中心を、前記マスク上のパターンの周期性に応じて決まる量だけ、前記照明光学系、もしくは前記投影光学系の光軸に対して偏心した離散的な位置に設定する位置調整部材と；該位置調整部材によって設定された後の前記複数のフライアイレンズ群のうち、少なくとも2つのフライアイレンズ群に前記光源からの照明光を入射させるインプット光学系とを備えたことを特徴とする投影型露光装置。

【請求項2】 前記複数のフライアイレンズ群は2m（ただし $m \geq 1$ ）個で構成されるとともに、該2m個のフライアイレンズ群のうちm個のフライアイレンズ群の各中心は、前記マスクのパターンから発生する0次回折光成分と、該0次回折光成分に対して前記パターンの微細度に応じた角度で広がる $\pm 1$ 次回折光成分のうちの少なくとも一方とが、前記投影光学系の瞳面で前記光軸からほぼ等距離に分布するように、前記フーリエ変換相当面、あるいはその共役面内で偏心して配置するとともに、残りのm個のフライアイレンズ群の各中心は、先のm個のフライアイレンズ群の各中心と前記光軸を挟んでほぼ対称に配置することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記少なくとも2つのフライアイレンズ群のうち任意の1つのフライアイレンズ群からの照明光の照射によって前記マスクから発生する回折光に着目したとき、前記投影光学系の瞳面上に分布する0次回折光成分と、前記マスクのパターンの2次元周期性構造に依存して前記0次回折光成分を中心に前記瞳面上で第1方向に分布する1次以上の高次回折光成分の1つと、前記瞳面上で前記0次回折光成分を中心に前記第1方向と交差する第2方向に分布する1次以上の高次回折光成分の1つとの3つの回折光成分が、前記瞳面上で前記光軸からほぼ等距離に分布するように、前記任意の1つのフライアイレンズ群の中心を前記光軸から偏心させて配置したことを特徴とする請求項1に記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体集積素子等の回路パターン又は液晶素子のパターンの転写に使用される投影型露光装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体等の回路パターン形成には、一般にフォトリソグラフ技術と呼ばれる工程が必要である。この工程には通常、レチクル（マスク）パターンを半導体ウェハ等の試料基板上に転写する方法が採用される。試料基板上には感光性のフォトリソレジストが塗布されており、照射光像、すなわちレチクルパターンの透明部分のパターン形状に応じて、フォトリソレジストに回路パターンが転写される。投影型露光装置では、レチクル上に描画された転写すべき回路パターンが、投影光学系を介して試料基板（ウェハ）上に投影、結像される。

【0003】 また、レチクルを照明する為の照明光学系中には、フライアイレンズ、ファイバーなどのオブチカルインテグレーターが使用され、レチクル上に照射される照明光の強度分布が均一化される。その均一化を最適に行なう為、フライアイレンズを用いた場合、レチクル側焦点面とレチクル面とはほぼフーリエ変換の関係で結ばれており、また、レチクル側焦点面と光源側焦点面ともフーリエ変換の関係で結ばれている。従って、レチクルのパターン面と、フライアイレンズの光源側焦点面（正確にはフライアイレンズの個々のレンズの光源側焦点面）とは、結像関係（共役関係）で結ばれている。この為レチクル上では、フライアイレンズの各エレメント（2次光源像）からの照明光がそれぞれ加算（重畳）されることで平均化され、レチクル上の照度均一性を良好とすることが可能となっている。

【0004】 従来の投影型露光装置では、上述のフライアイレンズ等のオブチカルインテグレーター入射面に入射する照明光束の光量分布を、照明光学系の光軸を中心とするほぼ円形内（あるいは矩形内）でほぼ一様になるようにしていた。図13は、上述の従来の投影光学系を示し、レチクル16の、照明光束L130は、照明光学系中のフライアイレンズ11、空間フィルター12、及びコンデンサーレンズ15を介してレチクルパターン17を照射する。ここで、空間フィルター12はフライアイレンズ11のレチクル側焦点面11b、すなわちレチクル16に対するフーリエ変換面（以後、瞳面と略す）、もしくはその近傍に配置され、投影光学系の光軸AXを中心としたほぼ円形領域の開口を有し、瞳面内にできる2次光源（面光源）像を円形に制限する。こうしてレチクル16のパターン17を通過した照明光は投影光学系18を介してウェハ20のレジスト層に結像される。ここで、光束を表す実線は1点から出た光の主光線を表している。

【0005】 このとき照明光学系（11、12、15）の開口数と投影光学系18のレチクル側開口数の比、所謂 $\sigma$ 値は開口絞り（例えば空間フィルター12の開口径）により決定され、その値は0.3～0.6程度が一般的である。照明光L130はレチクル16にパターン17により回折され、パターン17

からは0次回折光 $D_0$ 、+1次回折光 $D_+$ 、-1次回折光 $D_-$ が発生する。それぞれの回折光 ( $D_0$ ,  $D_+$ ,  $D_-$ ) は投影光学系18により集光されウェハ(試料基板)20上に干渉縞を発生させる。この干渉縞がパターン17の像である。このとき0次回折光 $D_0$ と±1次回折光 $D_+$ ,  $D_-$ のなす角 $\theta$ (レチクル側)は $\sin \theta = \lambda / P$  ( $\lambda$ :露光波長、 $P$ :パターンピッチ)により決まる。

【0006】パターンピッチが微細化すると $\sin \theta$ が大きくなり、 $\sin \theta$ が投影光学系18のレチクル側開口数( $NA_r$ )より大きくなると±1次回折光 $D_+$ ,  $D_-$ は投影光学系を透過できなくなる。このときウェハ20上には0次回折光 $D_0$ のみしか到達せず干渉縞は生じない。つまり $\sin \theta > NA_r$ となる場合にはパターン17の像は得られず、パターン17をウェハ20上に転写することができなくなってしまう。

【0007】以上のことから、今までの露光装置においては、 $\sin \theta = \lambda / P \leq NA_r$ となるピッチ $P$ は次式で与えられていた。 $P \leq \lambda / NA_r$  (1) 最小パターンサイズはピッチ $P$ の半分であるから、最小パターンサイズは $0.5 \cdot \lambda / NA_r$ 程度となるが、実際のフォトリソグラフィにおいてはウェハの湾曲、プロセスによるウェハの段差等の影響、又はフォトリソレジスト自体の厚さの為に、ある程度の焦点深度が必要となる。この為、実用的な最小解像パターンサイズは、 $k \cdot \lambda / NA$ として表される。ここで $k$ はプロセス係数と呼ばれ0.6~0.8程度となる。レチクル側開口数 $NA_r$ とウェハ側開口数 $NA_s$ との比は、投影光学系の結像倍率と同じであるので、レチクル上における最小解像パターンサイズは $k \cdot \lambda / NA_r$ 、ウェハ上の最小パターンサイズは、 $k \cdot \lambda / NA_s = k \cdot \lambda / B \cdot NA_r$  (ただし $B$ は結像倍率(縮小率))となる。

【0008】従って、より微細なパターンを転写する為には、より短い波長の露光光源を使用するか、あるいはより開口数の大きな投影光学系を使用するかを選択する必要があった。もちろん、波長と開口数の両方を最適化する努力も考えられる。また、レチクルの回路パターンの透過部分のうち、特定の部分からの透過光の位相を、他の透過部分からの透過光の位相より $\pi$ だけずらす、いわゆる位相シフトレチクルが特公昭62-50811号公報等で提案されている。この位相シフトレチクルを使用すると、従来よりも微細なパターンの転写が可能となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら従来の露光装置においては、照明光源を現在より短波長化(例えば200nm以下)することは、透過光学部材として使用可能な適当な光学材料が存在しない等の理由により現時点では困難である。また投影光学系の開口数は、現状でもすでに理論的限界に近く、これ以上の大開口化はほ

ぼ望めない状態である。

【0010】また、もし現状以上の大開口化が可能であるとしても $\pm \lambda / 2 NA^2$ で表わされる焦点深度は開口数の増加に伴って急激に減少し、実使用に必要な焦点深度がますます少なくなるという問題が顕著になってくる。一方位相シフトレチクルについては、その製造工程が複雑になる分コストも高く、また検査及び修正方法も未だ確立されていないなど、多くの問題が残されている。

10 【0011】本発明は上記問題点に鑑みてなされたもので、通常のレチクルを使用しても、高解像度かつ大焦点深度が得られる投影型露光装置の実現を目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の投影型露光装置に於ては、原理的に図12に示すように構成される。図12において従来と同じ部材には同一の符号をつけてある。図12において、フライアイレンズ(11A, 11B)は、そのレチクル側焦点面11bがレチクル16上の回路パターン(レチクルパターン)17に対してほぼフーリエ変換面の位置(投影レンズ18の瞳面19と共役な位置)となる様に配置され、かつ、上記のフライアイレンズ(11A, 11B)は、複数のフライアイレンズ群に分散して配列される。また、フライアイレンズ11A, 11Bのレチクル側焦点面11bにおける照明光量分布を、上記複数のフライアイレンズ群11A, 11Bの個々のフライアイレンズ位置以外ではほぼ零とするために、フライアイレンズの光源側に遮光部材10を設ける。このためフライアイレンズ11A, 11Bのレチクル側焦点面11bにおける照明光量分布は各フライアイレンズ群11A, 11Bの位置でのみ存在し、それ以外ではほぼ零となる。

【0013】フライアイレンズ群11A, 11Bのレチクル側焦点面11bはレチクルパターン17に対するフーリエ変換面にはほぼ等しいので、フライアイレンズ群11A, 11Bのレチクル側焦点面11bでの光量分布(光束の位置座標)は、レチクルパターン17に対する照明光束の入射角度 $\psi$ に対応することになる。従って、フライアイレンズ群11A, 11Bの個々の位置(光軸に垂直な面内での位置)に応じて、レチクルパターン17に入射する照明光束の入射角を調整することができる。

【0014】ここで、フライアイレンズ群11A, 11Bは光軸AXと対称に配置するのが望ましく、また各フライアイレンズ群は少なくとも1つ以上のレンズエレメントで構成される。さらに本発明に於ては上記フライアイレンズ群11A, 11Bをそれぞれ独立に、光軸と垂直な面内方向に可動とする構成としたため、個々のフライアイレンズ群をそれぞれ移動、位置調整することにより、レチクル16に入射するそれぞれの照射光束(複数本)の入射角度を任意に制御することが可能である。



【0015】

【作用】レチクル（マスク）上に描画された回路パターン17は、一般に周期的なパターンを多く含んでいる。従って1つのフライアイレンズ群11Aからの照明光が照射されたレチクルパターン17からは0次回折光成分 $D_0$ 及び±1次回折光成分 $D_{\pm 1}$ 、 $D_{\pm 1}$ 及びより高次の回折光成分が、パターンの微細度に応じた方向に発生する。

【0016】このとき、照明光束（主光線）が、傾いた角度でレチクル16に入射するから、発生した各次数の回折光成分も、垂直に照明された場合に比べ、傾き（角度ずれ）をもってレチクルパターン17から発生する。図12中の照明光L120は、光軸に対して $\psi$ だけ傾いてレチクル16に入射する。照明光L120はレチクルパターン17により回折され、光軸AXに対して $\psi$ だけ傾いた方向に進む0次回折光 $D_0$ 、0次回折光に対して $\theta_r$ だけ傾いた+1次回折光 $D_{+1}$ 、及び0次回折光 $D_0$ に対して $\theta_r$ だけ傾いて進む-1次回折光 $D_{-1}$ を発生する。しかしながら、照明光L120は両側テレセントリックな投影光学系18の光軸AXに対して角度 $\psi$ だけ傾いてレチクルパターンに入射するので、0次回折光 $D_0$ もまた投影光学系の光軸AXに対して角度 $\psi$ だけ傾いた方向に進行する。

【0017】従って、+1次光 $D_{+1}$ は光軸AXに対して $\theta_r + \psi$ の方向に進行し、-1次回折光 $D_{-1}$ は光軸AXに対して $\theta_r - \psi$ の方向に進行する。このとき回折角 $\theta_r$ 、 $\theta$ はそれぞれ

$$\sin(\theta_r + \psi) - \sin\psi = \lambda/P \quad (2)$$

$$\sin(\theta_r - \psi) + \sin\psi = \lambda/P \quad (3)$$

である。

【0018】ここでは、+1次回折光 $D_{+1}$ 、-1次回折光 $D_{-1}$ の両方が投影光学系18の瞳19を透過しているものとする。レチクルパターン17の微細化に伴って回折角が増大すると先ず角度 $\theta_r + \psi$ の方向に進行する+1次回折光 $D_{+1}$ が投影光学系18の瞳19を透過できなくなる。すなわち $\sin(\theta_r + \psi) > NA_R$ の関係になってくる。しかし照明光L120が光軸AXに対して傾いて入射している為、このときの回折角でも-1次回折光 $D_{-1}$ は、投影光学系18に入射可能となる。すなわち $\sin(\theta_r - \psi) < NA_R$ の関係になる。

【0019】従って、ウェハ20上には0次回折光 $D_0$ と-1次回折光 $D_{-1}$ の2光束による干渉縞が生じる。この干渉縞はレチクルパターン17の像であり、レチクルパターン17が1:1のラインアンドスペースの時、約90%のコントラストとなってウェハ20上に塗布されたレジストに、レチクルパターン17の像をパターンニングすることが可能となる。

【0020】このときの解像限界は、 $\sin(\theta_r - \psi) = NA_R$  (4) となるときであり、従って

$$NA_R + \sin\psi = \lambda/P$$

$$P = \lambda / (NA_R + \sin\psi) \quad (5)$$

が転写可能な最小パターンのレチクル側でのピッチである。

【0021】一例として今 $\sin\psi$ を $0.5 \times NA_R$ 程度に定めるとすれば、転写可能なレチクル上のパターンの最小ピッチは

$$P = \lambda / (NA_R + 0.5 NA_R) \\ = 2\lambda / 3 NA_R \quad (6)$$

10 となる。

【0022】一方、図13に示したように、照明光の瞳19上での分布が投影光学系18の光軸AXを中心とする円形領域内である従来の露光装置の場合、解像限界は(1)式に示したように $P = \lambda / NA_R$ であった。従って、従来の露光装置より高い解像度が実現できることがわかる。次に、レチクルパターンに対して特定の入射方向と入射角で露光光を照射して、0次回折光成分と1次回折光成分とを用いてウェハ上に結像パターンを形成方法によって、焦点深度も大きくなる理由について説明する。

20

【0023】図12のようにウェハ20が投影光学系18の焦点位置（最良結像面）に一致している場合には、レチクルパターン17中の1点を出てウェハ20上の一点に達する各回折光は、投影光学系18のどの部分を通るものであってもすべて等しい光路長を有する。このため従来のように0次回折光成分が投影光学系18の瞳面19のほぼ中心（光軸近傍）を貫通する場合でも、0次回折光成分とその他の回折光成分とで光路長は相等しく、相互の波面収差も零である。しかし、ウェハ20が投影光学系18の焦点位置に一致していないデフォーカス状態の場合、斜めに入射する高次の回折光の光路長は光軸近傍を通る0次回折光に対して焦点前方（投影光学系18から遠ざかる方）では短く、焦点後方（投影光学系18に近づく方）では長くなりその差は入射角の差に応じたものとなる。従って、0次、1次、…の各回折光は相互に波面収差を形成して焦点位置の前後におけるボケを生じることとなる。

30

【0024】前述のデフォーカスによる波面収差は、ウェハ20の焦点位置からのずれ量を $\Delta F$ 、各回折光が-1に入射するときの入射角 $\theta$ の正弦を $r$  ( $r = \sin\theta$ ) とすると、 $\Delta F r^2 / 2$ で与えられる量である。（このとき $r$ は各回折光の、瞳面19での光軸AXからの距離を表わす。従来の図13に示した投影型露光装置では、0次回折光 $D_0$ は光軸AXの近傍を通るので、 $r$  (0次) = 0となり、一方±1次回折光 $D_{\pm 1}$ 、 $D_{\pm 1}$ は、 $r$  (1次) =  $M \cdot \lambda / P$ となる（ $M$ は投影光学系の倍率）。

40

【0025】従って、0次回折光 $D_0$ と±1次回折光 $D_{\pm 1}$ 、 $D_{\pm 1}$ のデフォーカスによる波面収差は

$$50 \quad \Delta F \cdot M^2 (\lambda / P)^2 / 2 \text{ となる。}$$

一方、本発明における投影型露光装置では、図12に示すように0次回折光成分D<sub>0</sub>は光軸AXから角度ψだけ傾いた方向に発生するから、瞳面19における0次回折光成分の光軸AXからの距離は $r(0次) = M \cdot \sin \psi$ である。

【0026】一方、-1次回折光成分D<sub>-1</sub>の瞳面における光軸からの距離は $r(-1次) = M \cdot \sin(\theta - \psi)$ となる。そしてこのとき、 $\sin \psi = \sin(\theta - \psi)$ となれば、0次回折光成分D<sub>0</sub>と-1次回折光成分D<sub>-1</sub>のデフォーカスによる相対的な波面収差は零となり、ウェハ20が焦点位置より光軸方向に若干ずれてもパターン17の像ボケは従来程大きく生じないことになる。すなわち、焦点深度が増大することになる。また、(3)式のように、 $\sin(\theta - \psi) + \sin \psi = \lambda / P$ であるから、照明光束L120のレチクル16への入射角ψが、ピッチPのパターンに対して、 $\sin \psi = \lambda / 2P$ の関係にすれば焦点深度をきわめて増大することが可能である。

【0027】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例による投影型露光装置（ステッパー）を示し、フライアイレンズ群11A、11Bの夫々の光源側焦点面11aに照明光の光量分布を集中せしめる光学部材（本発明のインプット光学系の一部）として、回折格子状パターン5を設けるようにした。

【0028】水銀ランプ1より発生した照明光束は、楕円鏡2の第2焦点f<sub>2</sub>に集光した後、ミラー3、リレー系等のレンズ系4を介して回折格子状パターン5に照射される。このときの照明方法は、ケーラー照明法であってもクリチカル照明であっても良いが、強い光量を得るためにはクリチカル照明の方が望ましい。回折格子状パターン5から発生した回折光は、リレーレンズ9によりフライアイレンズ群11A、11Bの夫々に集中して入射する。このとき、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11aと、回折格子状パターン5とは、リレーレンズ9を介して、ほぼフーリエ変換の関係となっている。尚、図1では、回折格子状パターン5への照明光を平行光束として図示したが、実際は発散光束となっているため、フライアイレンズ群11A、11Bへの入射光束はある大きさ（太さ）を持っている。

【0029】一方、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bは、レチクルパターン17のフーリエ変換面（瞳共役面）とほぼ一致する様に、光軸AXと垂直な面内方向に配置されている。また、個々のフライアイレンズ群11A、11Bは光軸AXと垂直な面内方向にそれぞれ独立に可動であり、かつ、可動ならしめる可動部材（本発明の位置調整部材）に保持されているが、その詳細は後述する。

【0030】個々のフライアイレンズ群11A、11Bは同一の形状、同一の材質（屈折率）のものであること

が望ましい。また図1に示した個々のフライアイレンズ群11A、11Bの各レンズエレメントは、両凸レンズとし、かつ光源側焦点面11aと入射面、レチクル側焦点面11bと射出面がそれぞれ一致する場合の例であったが、フライアイのレンズエレメントはこの関係を厳密に満たさなくても良く、また平凸レンズや、凸平レンズ或いは平凹レンズであってもよい。

【0031】尚、フライアイレンズ群の光源側焦点面11aと、レチクル側焦点面11bとは当然ながらフーリエ変換の関係である。従って図1の例の場合、フライアイレンズ群のレチクル側焦点面11b、すなわちフライアイレンズ群11A、11Bの射出面は、回折格子状パターン5と、結像関係（共役）になっている。さて、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bより射出される光束は、コンデンサーレンズ13、15、ミラー14を介して、レチクル16を均一な照度分布で照明する。本実施例では、フライアイレンズ群11A、11Bの射出側に遮光部材12を配置し、回折格子状パターン5からの0次回折光等をカットする。遮光部材12はフライアイレンズ群に合わせて開口部をくり抜いた金属板、あるいはガラス、石英基板等に金属等の不透明物質がパターンニングされたものである。遮光部材12の開口部は、それぞれフライアイレンズ群11A、11Bの各位置に対応している。この為、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11b近傍における照明光量分布をそれぞれのフライアイレンズ群11A、11Bの位置以外では零とすることができる。

【0032】この為レチクルパターン17に照明される照明光は、各フライアイレンズ群11A、11Bより射出される光束（2次光源像からの光束）のみとなり、従って、レチクルパターン17への入射角も特定の入射角（複数）を持つ光束（複数）のみに制限される。尚、実施例においては、フライアイレンズ群11A、11Bは、それぞれ可動であるから、遮光部材12の開口部もこれに応じて可動であるか、或いは遮光部材12自体が交換できなければならない（遮光部材12については後述する）。

【0033】こうして照明されたレチクル16上のレチクルパターン17から発生した回折光は、図12で説明したのと同様に、テレセントリックな投影光学系18により集光、結像され、ウェハ20上にレチクルパターン17の像が転写される。前述の回折格子状パターン5を使って照明光束を回折させて、その回折光をフライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面内の特定の位置（フライアイレンズ群）に集中させる際、その集中位置は、回折格子状パターン5のピッチや方向性によって変化する。従って、各フライアイレンズ11A、11Bの位置に照明光を集中させるべく、回折格子状パターン5のピッチや方向性を決定する。

【0034】また、前述の如く、フライアイレンズ11

のレチクル側焦点面11bには回折格子状パターン5の像ができており、かつ、レチクルパターン面17と、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bとは、フーリエ変換面の関係となっているので、レチクル16上での照明強度分布は、回折格子状パターン5の欠陥や、ゴミ等により不均一化されることがない。また、回折格子状パターン5そのものがレチクル16に結像して照度均一性を劣化させることもない。回折格子状パターン5は、透過性の基板、例えばガラス基板の表面に、Cr等の遮光膜がパターンニングされたものであっても良いし、SiO<sub>2</sub>等の誘電体膜がパターンニングされた、いわゆる位相グレーティングであってよい。位相グレーティングの場合、0次回折光の発生を押さえることができる。

【0035】また、回折格子状パターン5は透過性のパターンのみでなく、反射性のパターンであっても良い。例えばガラス等の平面反射鏡の表面に、高反射率膜、すなわちA1等の金属膜や、誘電体多層膜を回折格子状にパターンニングしたもので良く、また、反射光に位相差を与えるための段差が回折格子状にパターンニングされた高反射率鏡であっても良い。

【0036】回折格子状パターン5が反射性のものである場合には図2に示す様に、反射性回折格子状パターン5Aにリレーレンズ系4からの照明光束を照射し、そこで反射回折された回折光をリレーレンズ9を介してフライアイレンズ群11A、11B近傍に集中させればよい。なお、個々のフライアイレンズ群11A、11Bが移動した場合にもそれぞれのフライアイレンズ11A、11B近傍に照明光を集中できるように、回折格子状パターン5又は5Aはピッチの異なるものに交換可能であるものとする。また、回折格子状パターン5又は5Aは光軸AXと垂直な面内で任意の方向に回転可能であってもよい。

【0037】このようにすると、レチクルパターン17中のラインアンドスペースパターンのピッチ方向がX、Y方向と異なる場合にも対応できる。またリレーレンズ9を複数枚のレンズより成るズームレンズ系（アフォーカルズームエキスパンダ等）とし、焦点距離を変えることにより集光位置を変えることもできる。ただし、このときは回折格子状パターン5又は5Aと、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11aとがほぼフーリエ変換の関係になることをくずさないようにする。

【0038】ところで、図1には装置を統括制御する主制御系50と、レチクル16が投影光学系18の直上に搬送される途中でレチクルパターン17の脇に形成された名称を表すバーコードBCを読み取るバーコードリーダ52と、オペレータからのコマンドやデータを入力するキーボード54と、フライアイレンズ群11A、11Bを動かす可動部材の駆動系（モータ、ギャトレン等）56が設けられている。主制御系50内には、このステ

ップーで扱うべき複数枚のレチクルの名称と、各名称に対応したステッパの動作パラメータとが予め登録されている。そして、主制御系50はバーコードリーダ52がレチクルバーコードBCを読み取ると、その名称に対応した動作パラメータの1つとして、予め登録されているフライアイレンズ群11A、11Bの移動位置（腫共役面内の位置）の情報を、駆動系56に出力する。これによって各フライアイレンズ群11A、11Bは第12図で説明したように位置調整される。以上の動作はキーボード54からオペレータがコマンドとデータを主制御系50へ直接入力することによっても実行できる。

【0039】以上、第1の実施例について説明したが、フライアイレンズ群の光源側焦点面での光量分布を、個々のフライアイレンズ位置近傍に集中させる光学部材は、回折格子状パターン5、又は5Aのみには限定されない。前述の図2に示した、反射性の回折格子状パターン5Aの代わりに可動平面鏡6を図3のように配置し、かつ平面鏡6を回転可動ならしめるモーター等の駆動部材6aを設ける。そして駆動部材6aにより、平面鏡6を回転又は振動させれば、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面（入射面）11a内での光量分布を時間によって変更することができる。露光動作中に平面鏡6を適当な複数の角度位置に回動させれば、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a内での光量分布を複数のフライアイレンズ群のうちいずれか1つのフライアイレンズ群の位置近傍のみに集中させることができる。なお、このような可動反射鏡6を使う場合はリレーレンズ系9を省略してしまっても良い。

【0040】さらに、個々のフライアイレンズ群11A、11Bが移動した場合には、前述の平面鏡6の複数の角度位置の角度座標を変更し、新しい位置のフライアイレンズ群の近傍に反射光束を集中させればよい。ところで、図3中に示した遮光部材12はフライアイレンズ群11A、11Bの入射面側に設けたが、図1と同様に射出面側に設けてもよい。

【0041】図4は、フライアイレンズ群の夫々に、照明光束を集光させる光学部材として、光ファイバー束7を用いた場合の略図である。リレーレンズ系4より光源側、及びフライアイレンズ群11よりレチクル側は図1と同じ構成であるとする。光源から発生し、リレーレンズ系4を透過した照明光は、光ファイバー束7の入射部7aに所定の開口数（NA）に調整されて入射する。光ファイバー束7は射出部7bに至る間に、フライアイレンズ群の数に対応した複数の束に分割され、それぞれの射出部7bは、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a近傍に各フライアイレンズ群と一体となるように配置される。またこのとき、光ファイバー束7の各射出部7bとフライアイレンズ群11の間に、それぞれレンズ（例えばフィールドレンズ）を設けても良いし、また、そのレンズにより、フライアイレンズ群1



1の光源側焦点面11aと、光ファイバー射出部7bの光射出面とをフーリエ変換の関係としても良い。

【0042】また、各射出部7b（又は射出部7bとフライアイレンズ群11bとの間のレンズ）は、モーター等の駆動部材により、光軸と垂直な面内で一次元、又は二次元に可動とすれば、個々のフライアイレンズ群11A、11Bが移動した場合にも、照明光束を移動後の各フライアイレンズ群の位置近傍に集中させることができる。

【0043】図5は各フライアイレンズ群に照明光束を集中させる光学部材として、複数の屈折面を有するプリズム8を用いた例である。図5中のプリズム8は光軸AXを境界として2つの屈折面に分割されており、光軸AXより上方に入射した照明光は上方へ屈折し、光軸AXより下方に入射した照明光は下方へ屈折させる。従って、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a上で、プリズム8の屈折角に応じて、個々のフライアイレンズ群11A、11B近傍に照明光を集中させることができる。

【0044】プリズム8の屈折面の分割数は2面に限ったものではなく、フライアイレンズ群の数に応じて何面に分割されていてもよい。また、分割される位置は光軸AXと対称な位置にはこだわらなくとも良い。プリズム8を交換することにより、個々のフライアイレンズ群11A、11Bが移動した場合にも、それぞれのフライアイレンズ群11A、11Bの位置に照明光を適確に集中させることができる。

【0045】またこのときのプリズム8はウォラストンプリズム等の偏光性の光分割器であっても良い。ただしこの場合、分割された光束同志の偏光方向が異なるため、ウェハ20のレジストの偏光特性を考慮して、その偏光特性は1方向に揃えた方がよい。また、プリズム8の代わりに複数の角度の異なる反射面を持つ反射鏡を図3の様に配置すれば、駆動部材6aは不用となる。装置内に、このプリズム等の交換機能を有していると良いことは言うまでもない。また、このようなプリズム等を使う場合も、リレーレンズ系9を省略することができる。

【0046】図6は各フライアイレンズ群へ照明光束を集中させる光学部材として、複数のミラー8a、8b、8c、8dを用いた例である。リレーレンズ系4を透過した照明光は、1次ミラー8b、8cにより2方向に分離されるように反射され、2次ミラー8a、8dに導かれ、再び反射してフライアイレンズ群11の光源側焦点面11aに達する。各ミラー8a、8b、8c、8dに位置調整機構及び光軸AXの回りの回転角度調整機構を設けておけば、個々のフライアイレンズ群11A、11Bの移動後も、照明光束をそれぞれのフライアイレンズ11A、11Bの近傍に集中させることができる。また、各ミラー8a、8b、8c、8dは平面ミラーであっても凸面あるいは凹面ミラーであっても良い。

【0047】また、2次ミラー8a、8dとフライアイレンズ群11の夫々の間に、レンズを設けても良い。

図6では1次ミラー8b、8c、2次ミラー8a、8d共に2コずつとしたが、数量はこれに限定されるものではなく、フライアイレンズ群の数によって適宜ミラーを配置すればよい。以上の各実施例に於ては、フライアイレンズ群をすべて2個としたが、フライアイレンズ群の個数は3個以上であってももちろん良い。また、個々のフライアイレンズ群に照明光を集中させる光学部材についても、主に2ヶ所への光の集中を述べたが、フライアイレンズ群の数に応じて複数の位置へ照明光を集中せしめることは言うまでもない。以上の実施例はすべて任意の位置（フライアイレンズ群の位置に対応する）への照明光の集中が可能である。また、各フライアイレンズ群へ照明光を集中させる光学部材は、実施例に挙げた型式にはとどまらず、他のいかなるものであっても良い。

【0048】また遮光部材12は前述の図12の如く、フライアイレンズの光源側焦点面11a近傍に設けられた遮光部材10に置換してもよいし、図1から図5に示される各実施例と、図12に示した遮光部材10を組み合わせて使用しても良い。また遮光部材10、12は、フライアイレンズ群のレチクル側焦点面11bや、光源側焦点面11aに限らず、任意の位置に配置することができるが、例えば、上記2つの焦点面11a、11bの間などは好適な場所である。

【0049】また、個々のフライアイレンズ群11A、11Bの近傍のみへ照明光を集中させる光学部材は、レチクル16を照明する照明光量の損失を防止する為のものであり、本発明の投影型露光装置の特徴である高解像度及び大焦点深度の効果を得るための構成とは直接関連するものではない。従って、上記光学部材は位置調整後の各フライアイレンズ群の夫々に照明光をフラッドに入射させるだけの大きな径のレンズ系だけでもよい。

【0050】図7は本発明の他の実施例による投影型露光装置の構成を示す図であって、ミラー14、コンデンサーレンズ15、レチクル16、投影光学系18は図1と同様である。またフライアイレンズ群11A、11Bより光源側は前述の図1から図5、あるいは図12に示した構成のいずれかとなっている。フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11b近傍に任意の開口部（透過部）を有する遮光部材12aが設けられ、フライアイレンズ群11A、11Bから射出される照明光束を制限する。

【0051】リレーレンズ13aに対するフライアイレンズ群11のレチクル側焦点面11bのフーリエ変換はレチクルパターン17と共役面となるので、ここに可変視野絞り（レチクルブラインド）13dを設ける。そして再びリレーレンズ13bによりフーリエ変換され、フライアイレンズ群11のレチクル側焦点面11bの共役面（フーリエ面）12bに到る。先の遮光部材12aは



このフーリエ面12bに設けても良い。

【0052】各フライアイレンズ群11A、11Bからの照明光束はさらにコンデンサーレンズ13C、15、ミラー14によってレチクル16に導かれる。なお、各フライアイレンズ群11A、11Bに入射する照明光束が有効にそのみに集中できる系であれば、遮光部材を12a、または12bの位置に設けなくても全く問題ない。この場合でも、視野絞り（レチクルブラインド）13dの使用が可能である。

【0053】以上のいずれの実施例においても、遮光部材10、12、12aの開口部1つあたりの径（又はフライアイレンズ群の夫々の射出端面面積）は、その開口部を透過する照明光束のレチクル16に対するの開口数と投影光学系18のレチクル側開口数（ $NA_r$ ）との比、いわゆる $\sigma$ 値が0.1~0.3程度になるように設定することが望ましい。 $\sigma$ 値が0.1より小さいと、転写像のパターン忠実度が劣化し、0.3より大きいと、解像度向上や、焦点深度増大の効果が弱くなってしまう。

【0054】また、フライアイレンズ群の1つによって決まる $\sigma$ 値の条件（ $0.1 \leq \sigma \leq 0.3$ 程度）を満たす20 為に、個々のフライアイレンズ群11A、11Bの射出端面面積の大きさ、（光軸と垂直な面内方向の大きさ）を、照明光束（射出光束）にあわせて決定しても良い。また、各フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11b近傍に、それぞれ可変開口絞り（遮光部材12と同等のもの）を設けて、各フライアイレンズ群からの光束の開口数を可変として、 $\sigma$ 値を変えても良い。それとあわせて、投影光学系18内の瞳（入射瞳、もしくは射出瞳）19近傍に可変開口絞り（NA制限絞り）を設けて、投影系としてのNAも $\sigma$ 値をより最適化30 することもできる。

【0055】また、各フライアイレンズ群に入射する光束は、各フライアイレンズ群の入射端面よりもある程度外側まで広く照明されており、かつ、各フライアイレンズ群に入射する光量分布が均一であると、レチクルパターン面での照度均一性を一層高められるので好ましい。次に、フライアイレンズ群を可動する可動部の実施例を図8及び図9を用いて説明する。

【0056】図8は可動部を光軸方向から見た図であり、図9は光軸と垂直な方向から見た図である。複数のフライアイレンズ群として図8では4個のフライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dを光軸からほぼ等距離に配置する。また、フライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dの夫々は、図8に示したように32個のレンズエレメントで構成されるが、これに限定されるものではなく、極端な場合1個のレンズエレメントで構成されたフライアイレンズ群としてもよい。さて図8、図9において、フライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dは治具80A、80B、80C、80Dにより保持され、これら治具80A、80B、8040

C、80Dはさらに支持棒70A、70B、70C、70Dを介して可動部材71A、71B、71C、71Dにより支持される。この支持棒70A、70B、70C、70Dは可動部材71A、71B、71C、71Dに含まれるモーター及びギア等の駆動素子により光軸方向に伸縮可能となっている。また、可動部材71A、71B、71C、71D自体も、固定ガイド72A、72B、72C、72Dに沿って可動であり、従って個々のフライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dは光軸と垂直な面内方向に、それぞれ独立に可動となっている。

【0057】図8、及び図9に示したフライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dの各位置（光軸と垂直な面内での位置）は、転写すべきレチクルパターンに応じて決定（変更）するのが良い。この場合の位置決定方法は作用の項で述べたとおり、各フライアイレンズ群からの照明光束が転写すべきパターンの微細度（ピッチ）に対して最適な解像度、及び焦点深度の向上効果を得られるようにレチクルパターンに入射する位置（入射角 $\theta$ ）とすればよい。次に各フライアイレンズ群の位置決定の具体例を、図10、図11（A）、（B）、（C）、（D）を用いて説明する。図10はフライアイレンズ群11A、11Bからレチクルパターン17までの部分を模式的に表わす図であり、フライアイレンズ群11のレチクル側焦点面11bが、レチクルパターン17のフーリエ変換面12cと一致している。またこのとき両者をフーリエ変換の関係とならしめるレンズ、またはレンズ群を、一枚のレンズ15として表わしてある。さらに、レンズ15のフライアイレンズ側主点からフライアイレンズ群11のレチクル側焦点面11bまでの距離と、レンズ15のレチクル側主点からレチクルパターン17までの距離は共にfであるとする。

【0058】図11（A）、（C）は共にレチクルパターン17中に形成される一部分のパターンの例を表わす図であり、図11（B）は図11（A）のレチクルパターンの場合に最適なフライアイレンズ群の中心のフーリエ変換面（又は投影光学系の瞳面）での位置を示し、図11（D）は図11（C）のレチクルパターンの場合に最適な各フライアイレンズ群の位置（最適な各フライアイレンズ群の中心の位置）を表わす図である。

【0059】図11（A）は、いわゆる1次元ラインアンドスペースパターンであって、透過部と遮光部が等しい幅でY方向に帯状に並び、それらがX方向にピッチPで規則的に並んでいる。このとき、個々のフライアイレンズ群の最適位置は図11（B）に示すようにフーリエ変換面内に仮定したY方向の線分L $\alpha$ 上、及び線分L $\beta$ 上の任意の位置となる。図11（B）はレチクルパターン17に対するフーリエ変換面12c（11b）を光軸AX方向から見た図であり、かつ、面12c内の座標系X、Yは、同一方向からレチクルパターン17を見た図40 50

11 (A) と同一にしてある。さて、図11 (B) において光軸AXが通る中心Cから、各線分L $\alpha$ 、L $\beta$ までの距離 $\alpha$ 、 $\beta$ は $\alpha = \beta$ であり、 $\lambda$ を露光波長としたとき、 $\alpha = \beta = f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P)$  に等しい。この距離 $\alpha$ 、 $\beta$ を $f \cdot \sin \psi$ と表わせれば、 $\sin \psi = \lambda/2P$ であり、これは作用の項で述べた数値と一致している。従って各フライアイレンズ群の各中心(各フライアイレンズ群の夫々によって作られる2次光源像の光量分布の各重心)位置が線分L $\alpha$ 、L $\beta$ 上にあれば図11 (A) に示す如きラインアンドスペースパターンに対して、各フライアイレンズからの照明光により発生する0次回折光と $\pm 1$ 次回折光のうちのどちらか一方との2つの回折光は、投影光学系瞳面19において光軸AXからほぼ等距離となる位置を通る。従って前述の如く、ラインアンドスペースパターン(図11 (A)) に対する焦点深度を最大とすることができ、かつ高解像度を得ることができる。

【0060】次に図11 (C) は、レチクルパターンがいわゆる孤立スペースパターンである場合であり、かつ、パターンのX方向(横方向)ピッチがP $_x$ 、Y方向(縦方向)ピッチがP $_y$ となっている。図11 (D) はこの場合の各フライアイレンズ群の最適位置を表す図であり、図11 (C) との位置、回転関係は図11 (A)、(B) の関係と同じである。図11 (C) の如き、2次元パターンに照明光が入射するとパターンの2次元方向の周期性(X:P $_x$ 、Y:P $_y$ ) に応じた2次元方向に回折光が発生する。図11 (C) の如き2次元パターンにおいても回折光中の0次回折光と $\pm 1$ 次回折光のうちのいずれか一方とが投影光学系瞳面19において光軸AXからほぼ等距離となるようにすれば、焦点深度を最大とすることができ、図11 (C) のパターンではX方向のピッチはP $_x$ であるから図11 (D) に示す如く、 $\alpha = \beta = f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P_x)$  となる線分L $\alpha$ 、L $\beta$ 上に各フライアイレンズ群の中心があれば、パターンのX方向成分について焦点深度を最大とすることができる。同様に、 $\gamma = \epsilon = f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P_y)$  となる線分L $\gamma$ 、L $\epsilon$ 上に各フライアイレンズ群の中心があれば、パターンY方向成分について焦点深度を最大とすることができる。

【0061】以上、図11 (B)、又は(D) に示した各位置に配置したフライアイレンズ群からの照明光束がレチクルパターン17に入射すると、0次光回折光成分D $_0$ と、+1次回折光成分D $_+$ または-1次回折光成分D $_-$ のいずれか一方とが、投影光学系18内の瞳面19では光軸AXからほぼ等距離となる光路を通る。従って作用の項で述べたとおり、高解像及び大焦点深度の投影型露光装置が実現できる。以上、レチクルパターン17として図11 (A)、又は(C) に示した2例のみを考えたが、他のパターンであってもその周期性(微細度)に着目し、そのパターンからの+1次回折光成分または

-1次回折光成分のいずれか一方と0次回折光成分との2光束が、投影光学系内の瞳面19では光軸AXからほぼ等距離になる光路を通る様な位置に各フライアイレンズ群の中心を配置すればよい。また図11 (A)、(C) のパターン例は、ライン部とスペース部の比(デューティ比)が1:1のパターンであった為、発生する回折光中では $\pm 1$ 次回折光が強くなる。このため、 $\pm 1$ 次回折光のうちの一方と0次回折光との位置関係に着目したが、パターンがデューティ比1:1から異なる場合等では他の回折光、例えば $\pm 2$ 次回折光のうちの一方と0次回折光との位置関係が、投影光学系瞳面19において光軸AXからほぼ等距離となるようにしてもよい。

【0062】また、レチクルパターン17が図11 (D) の如く2次元の周期性パターンを含む場合、特定の1つの0次回折光成分に着目したとき、投影光学系の瞳面19上ではその1つの0次回折光成分を中心としてX方向(第1方向)に分布する1次以上の高次回折光成分と、Y方向(第2方向)に分布する1次以上の高次回折光成分とが存在し得る。そこで、特定の1つの0次回折光成分に対して2次元のパターンの結像を良好に行うものとする、第1方向に分布する高次回折光成分の1つと、第2方向に分布する高次回折光成分の1つと、特定の0次回折光成分との3つが、瞳面19上で光軸AXからほぼ等距離に分布するように、特定の0次回折光成分(1つのフライアイレンズ群)の位置を調節すればよい。例えば、図11 (D) 中でフライアイレンズ中心位置を点P $_{\xi}$ 、P $_{\eta}$ 、P $_{\kappa}$ 、P $_{\mu}$ のいずれかと一致させるとよい。点P $_{\xi}$ 、P $_{\eta}$ 、P $_{\kappa}$ 、P $_{\mu}$ はいずれも線分L $\alpha$ またはL $\beta$ (X方向の周期性について最適な位置、すなわち0次回折光とX方向の $\pm 1$ 次回折光の一方とが投影光学系瞳面19上で光軸からほぼ等距離となる位置)及び線分L $\gamma$ 、L $\epsilon$ (Y方向の周期性について最適な位置)の交点であるためX方向、Y方向のいずれのパターン方向についても最適な光源位置である。

【0063】なお、以上において2次元パターンとしてレチクル上の同一箇所に2次元の方向性を有するパターンを仮定したが、同一レチクルパターン中の異なる位置に異なる方向性を有する複数のパターンが存在する場合にも上記の方法を適用することが出来る。レチクル上のパターンが複数の方向性又は微細度を有している場合、フライアイレンズ群の最適位置は、上述の様にパターンの各方向性及び微細度に対応したものとなるが、或いは各最適位置の平均位置にフライアイレンズ群を配置してもよい。また、この平均位置は、パターンの微細度や重要度に応じた重みを加味した荷重平均としてもよい。

【0064】以上、複数のフライアイレンズ群の位置決定の例を示したが、照明光束は、前述の光学部材(回折格子状パターン、可動ミラー、プリズム或いはファイバー等)により、各フライアイレンズ群の移動位置に対応して集中させたが、この様な集中化のための光学部材は

設けなくても良い。また、各フライアイレンズ群を射出した光束は、それぞれレチクルに対して傾いて入射する。このときこれらの傾いた入射光束（複数）の光量重心の方向がレチクルに対して垂直でないと、ウェハ20の微小デフォーカス時に、転写像の位置がウェハ面内方向にシフトするという問題が発生する。これを防止する為に、各フライアイレンズ群からの照明光束（複数）の光量重心の方向は、レチクルパターンと垂直、すなわち光軸AXと平行である様にする。

【0065】つまり、各フライアイレンズ群に光軸（中心線）を仮定したとき投影光学系18の光軸AXを基準としたその光軸（中心線）のフーリエ変換面内での位置ベクトルと、各フライアイレンズ群から射出される光量との積のベクトル和が零になる様にすればよい。また、より簡単な方法としては、フライアイレンズ群を2m個（mは自然数）とし、そのうちのm個の位置を前述の最適化方法（図12）により決定し、残るm個は前記m個と光軸AXについて対称となる位置に配置すればよい。

【0066】さらに装置が、例えばn個（nは自然数）のフライアイレンズ群を有している場合に、必要なフライアイレンズ群の数がn個より少ないm個である場合、残る（n-m）個のフライアイレンズ群は使用しなくて良い。（n-m）個のフライアイレンズ群を使用しなくする為には、（n-m）個のフライアイレンズ群の位置に遮光部材10、又は12を設けておけばよい。またこのとき各フライアイレンズ群の位置に照明光を集中する光学部材は、この（n-m）個のフライアイレンズへは集中を行なわない様にしておくとい。

【0067】遮光部材10、又は12は各フライアイレンズ群の移動に応じて開口部の位置が可変であることが望ましい。あるいは各フライアイレンズの位置に応じて遮光部材10、12を交換とする機構を設け、かつ何種類かの遮光部材を装置内に有していてもよい。また、図9に示したとおり、各フライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dを保持する治具80A、80B、80C、80Dがそれぞれ遮光羽根81A、81Bを有していると、遮光部材12の開口は、フライアイレンズ径よりかなり大きくて良く、従って1つの遮光部材12で、種々の各フライアイレンズ位置に対応できる。また、各遮光羽根81A、81Bは、光軸方向にわずかずつずれていると、各フライアイレンズ群の移動範囲に与える制限が減少される。

【0068】以上の実施例に於て、光源は水銀ランプ1を用いて説明したが、他の輝線ランプやレーザー（エキシマ等）、あるいは連続スペクトルの光源であっても良い。また照明光学系中の光学部材の大部分をレンズとしたが、ミラー（凹面鏡、凸面鏡）であっても良い。投影光学系としては屈折系であっても、反射系であっても、あるいは反射屈折系であってもよい。また、以上の実施例においては両側テレセントリックな投影光学系を使用

したが片側テレセントリック系でも、非テレセントリック系でもよい。さらに、光源から発生する照明光のうち、特定の波長の光のみを利用する為に、照明光学系中に干渉フィルター等の単色化手段を設けてもよい。

【0069】また、フライアイレンズ群11A、11B、11C、11Dの光源側焦点面11a近傍に、拡散板や光ファイバー束等の光散乱部材を用いることで、照明光の均一化を行なっても良い。あるいは本発明の実施例で使用されたフライアイレンズ群11とは別に、さらにフライアイレンズ（以後、別フライアイレンズ）等のオプティカルインテグレーターを用いて、照明光の均一化を行なっても良い。このとき別フライアイレンズは、上記フライアイレンズ群11の光源側焦点面11a近傍での照明光量分布を可変とする光学部材、例えば図1、図2に示した回折格子状パターン5、又は6よりも光源（ランプ）1側であることが望ましい。

【0070】さらに別フライアイレンズのレンズエレメントの断面形状は正方形（矩形）よりも正六角形にするのが望ましい。図14は本発明の各実施例に適用される投影露光装置のウェハステージ周りの構成を示し、投影光学系18のウェハ20上での投影視野領域内に向けて斜めにビーム100Aを照射し、その反射ビーム100Bを受光する斜入射式のオートフォーカスセンサーを設ける。このフォーカスセンサーは、ウェハ20の表面と投影光学系18の最良結像面との光軸AX方向のずれを検出するもので、そのずれが零となるように、ウェハ20を載置するZステージ110のモータ112をサーボ制御する。これによってZステージ110はXYステージ114に対して上下方向（光軸方向）に微動し、常にベストフォーカス状態で露光が行なわれる。このようなフォーカス制御が可能な露光装置においては、そのZステージ110を露光動作中に光軸方向に制御された速度特性で移動させることで、さらに見かけ上の焦点深度を拡大させることができる。この手法は、投影光学系18の像側（ウェハ側）がテレセントリックであれば、どのようなタイプのステッパーでも実現可能である。

【0071】図15（A）は、Zステージ110の露光中の移動に伴ってレジスト層内に得られる光軸方向の光量（dose）分布、或いは存在確率を表し、図15（B）は図15（A）のような分布を得るためのZステージ110の速度特性を表す。図15（A）、（B）とも縦軸はZ（光軸）方向のウェハ位置を表し、図15（A）の横軸は存在確率を表し、図15（B）の横軸はZステージ110の速度Vを表す。また同図中、位置Z<sub>0</sub>はベストフォーカス位置である。

【0072】ここでは位置Z<sub>0</sub>から上下に投影光学系18の理論的な焦点深度±ΔD<sub>0</sub>だけ離れた2つの位置+Z<sub>1</sub>、-Z<sub>1</sub>で存在確率をほぼ等しい極大値にし、その間の位置+Z<sub>2</sub>、-Z<sub>2</sub>の範囲では存在確率を小さな値に押さえるようにした。そのために、Zステージ11



0は、照明系内部のシャッターの開放開始時の位置 $-Z_2$ で、低い速度 $V_1$ で等速に上下へ移動し、シャッターが全開になった直後に、高い速度 $V_2$ まで加速する。速度 $V_2$ でZステージ110が等速に上下移動している間、存在確率は低い値に押されられ、位置 $+Z_2$ に達した時点でZステージ110は低い速度 $V_1$ に向けて減速を始め、位置 $+Z_1$ で存在確率が極大値になる。このときほぼ同時にシャッターの閉成指令が出力され、位置 $+Z_2$ でシャッターが完全に閉じる。

【0073】このように、ウェハ20のレジスト層に与えられる露光量の光軸方向に関する光量分布（存在確率）を焦点深度の幅（ $2 \cdot \Delta D \cdot f$ ）程度だけ離れた2点で極大値となるように、Zステージ110の速度を制御すると、レジスト層に形成されるパターンのコントラストは若干低下するものの、光軸方向の広い範囲に渡って一様な解像力が得られる。

【0074】以上の累進焦点露光方法は、本発明の各実施例に示したような特別な照明方式を採用した投影露光装置でも全く同じように使用することができ、見かけ上の焦点深度は、本発明の照明方式によって得られる拡大分と、累積焦点露光方式によって得られる拡大分とのほぼ積に依じた量だけ拡大される。しかも特別な照明方式を採用していることから、解像力そのものも高くなる。例えば、従来の1/5縮小の1線ステッパー（投影レンズのNA0.42）に位相シフトレチクルを組み合わせる露光できる最小線幅は0.3~0.35 $\mu\text{m}$ 程度であり、焦点深度の拡大率は最大40%程度である。これに対して本発明のような特別な照明方式を同じ1線ステッパーに組み込んで、普通のレチクルで実験したところ、最小線幅は0.25~0.3 $\mu\text{m}$ 程度が得られ、焦点深度の拡大率も位相シフトレチクルの使用時と同程度に得られた。

【0075】

【発明の効果】以上の様に本発明によれば、通常のマスクを使用しながら、従来よりも高解像度、大焦点深度の投影型露光装置を実現することが可能である。しかも本発明によれば、すでに半導体生産現場で稼働中の投影型露光装置の照明系部分を替えるだけでよく、稼働中の装置の投影光学系をそのまま利用して、それまで以上の高解像力化が可能となる。

【0076】さらに本発明では、照明光学系内のマスクのフーリエ変換相当面に複数のフライアイレンズ群を互いに分離して配置したため、それらフライアイレンズ群を可動としても、マスク又は感光基板上での照明光の均一性は大きく変動することがないといった利点もある。また、本発明の各実施例に示したフライアイレンズ群への照明光の集中化方式によれば、光源からの照明光量の損失を最小とすることができるから、露光装置としての

スループットも極端に低下することがないといった効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による投影型露光装置の構成を示す図である。

【図2】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第1の変形例を示す図である。

【図3】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第2の変形例を示す図である。

【図4】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第3の変形例を示す図である。

【図5】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第4の変形例を示す図である。

【図6】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第5の変形例を示す図である。

【図7】図1の装置にレチクルブラインドを組み込んだときの照明系を示す図である。

【図8】4つの可動フライアイレンズ群の配置と、その可動部材の構成を光軸方向からみた平面図である。

【図9】図8の構成を光軸と垂直な方向からみた図である。

【図10】フライアイレンズ群から投影光学系までの光路を模式的に表した図である。

【図11】(A)、(C)はマスク上に形成されたレチクルパターンの一例を示す平面図である。(B)、(D)は(A)、(C)の夫々に対応した障共役面における各フライアイレンズ群の配置を説明する図である。

【図12】本発明の原理を説明する図である。

【図13】従来の投影型露光装置の構成を示す図である。

【図14】投影型露光装置のウェハステージ回りの構成を示す図である。

【図15】ウェハステージのうちのZステージを用いて累進焦点露光方法を実行する際の露光量の存在確率と、Zステージの速度特性とを示すグラフである。

【符号の説明】

5 回折格子状パターン

9 レンズ系

11A, 11B, 11C, 11D フライアイレンズ系

10, 12 遮光部材（空間フィルター）

15 主コンデンサーレンズ

16 レチクル

17 レチクルパターン

18 投影光学系

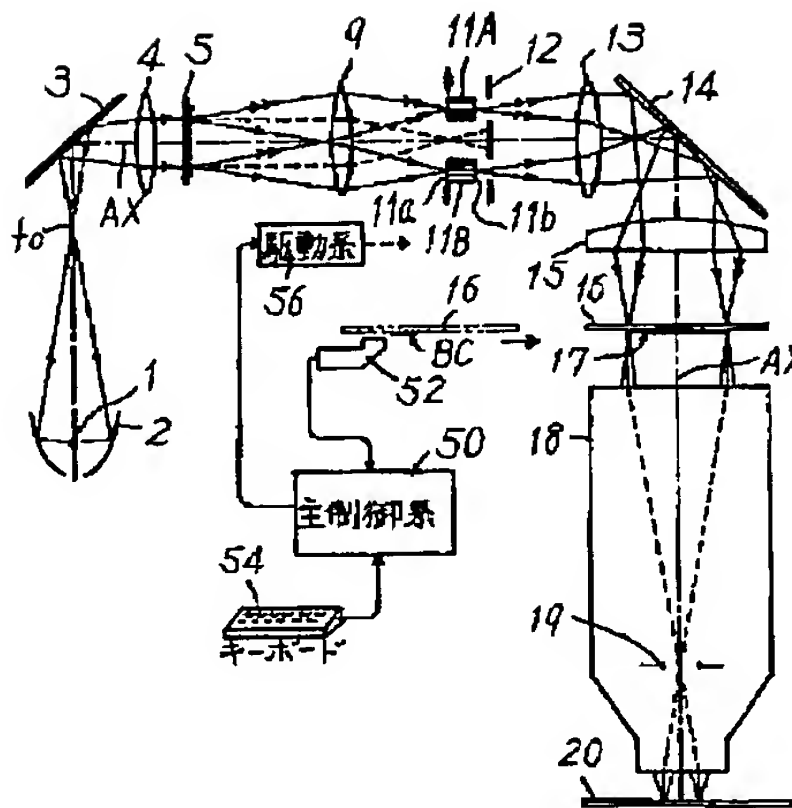
19 瞳

20 ウェハ

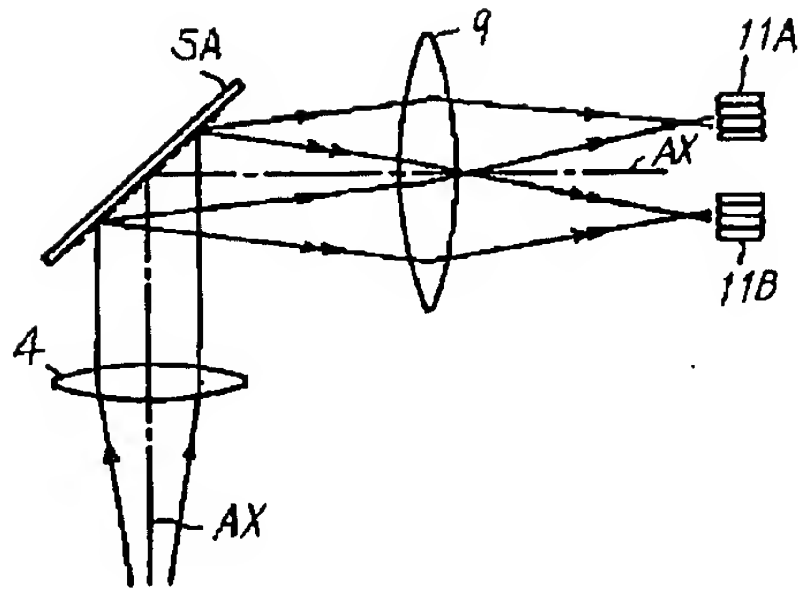
71A, 71B, 71C, 71D 可動部材



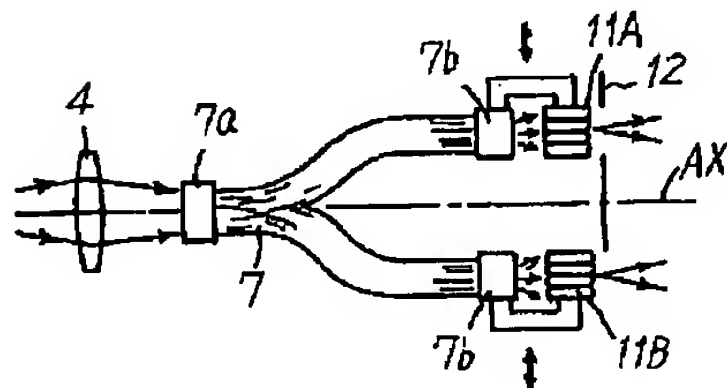
【図1】



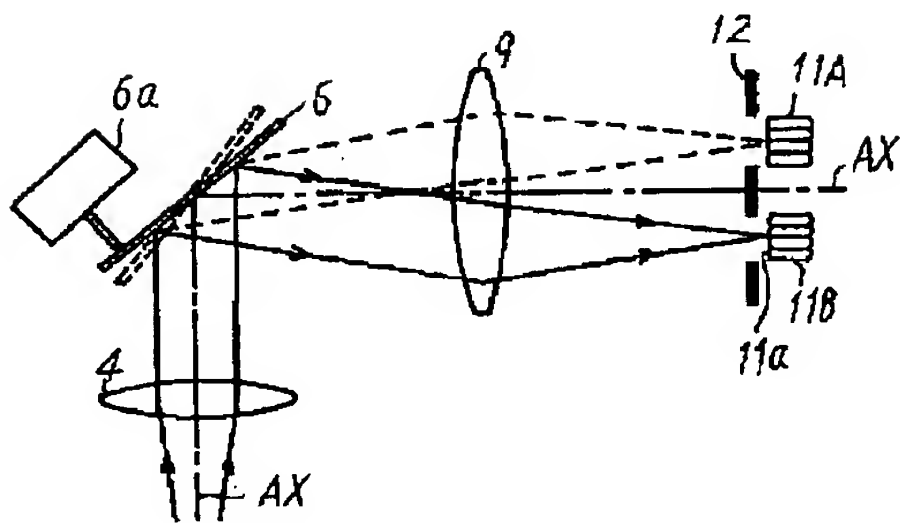
【図2】



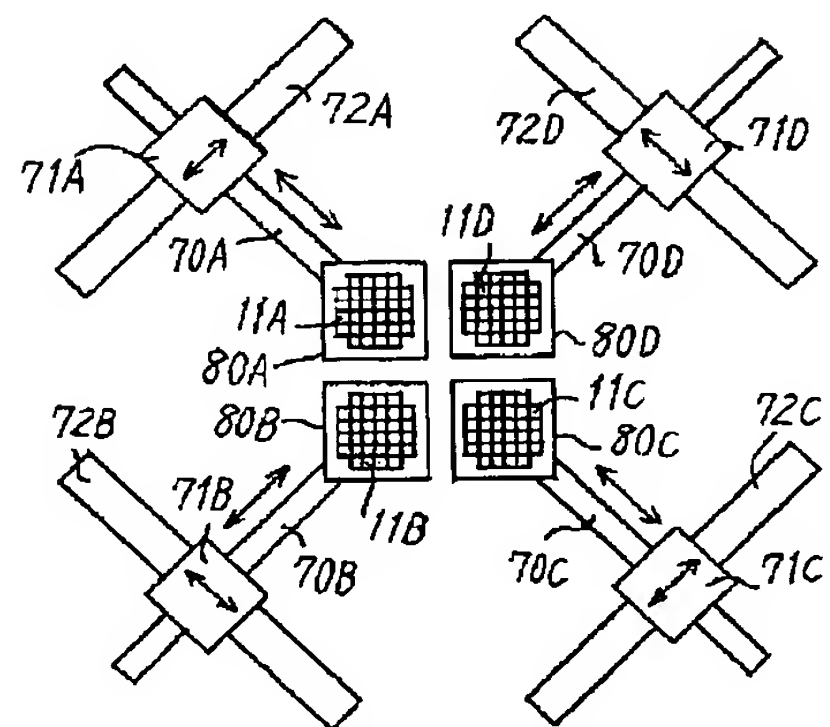
【図4】



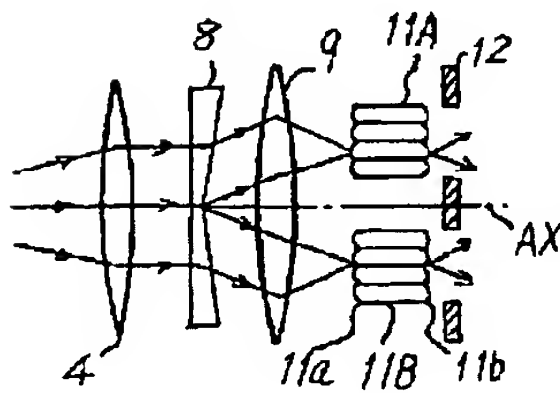
【図3】



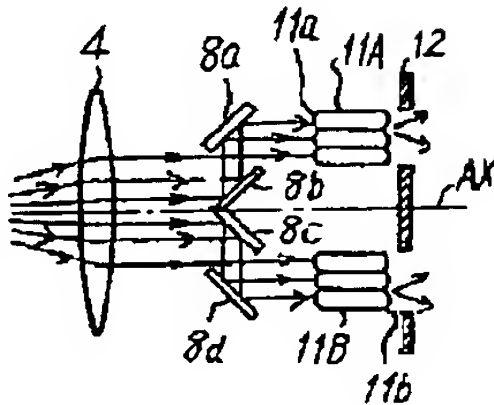
【図8】



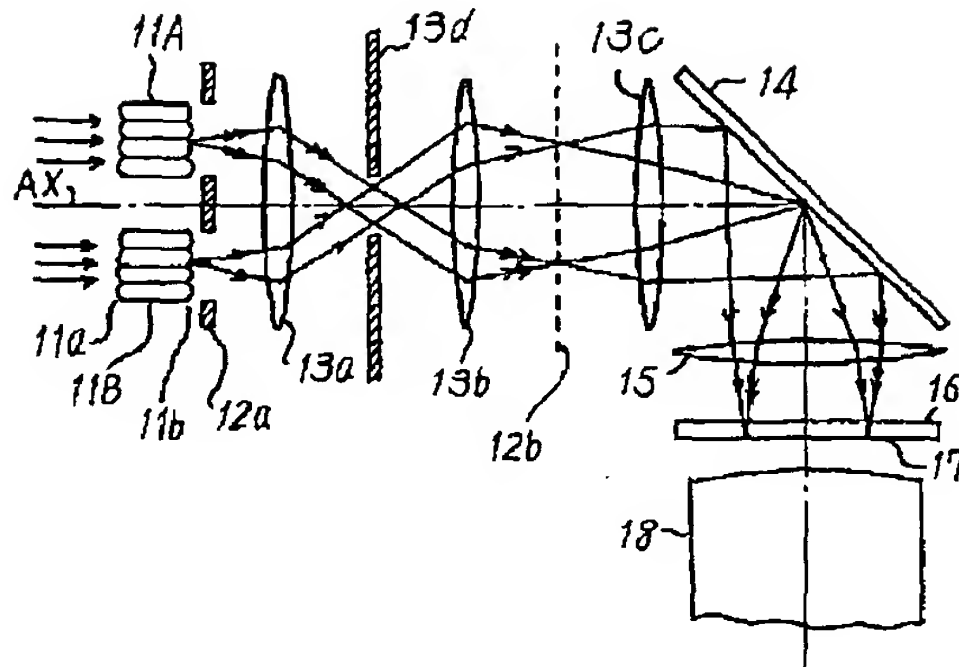
【図5】



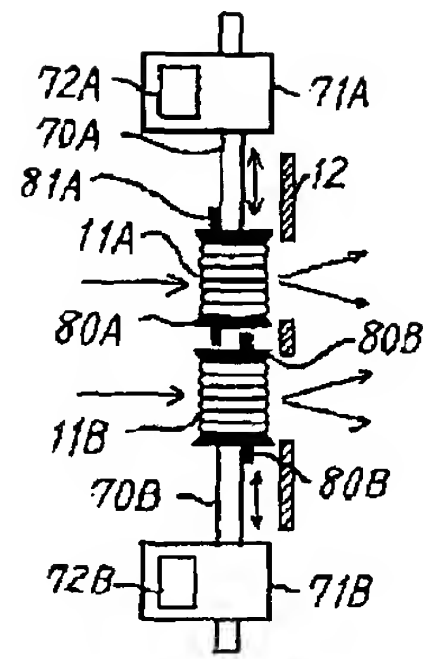
【図6】



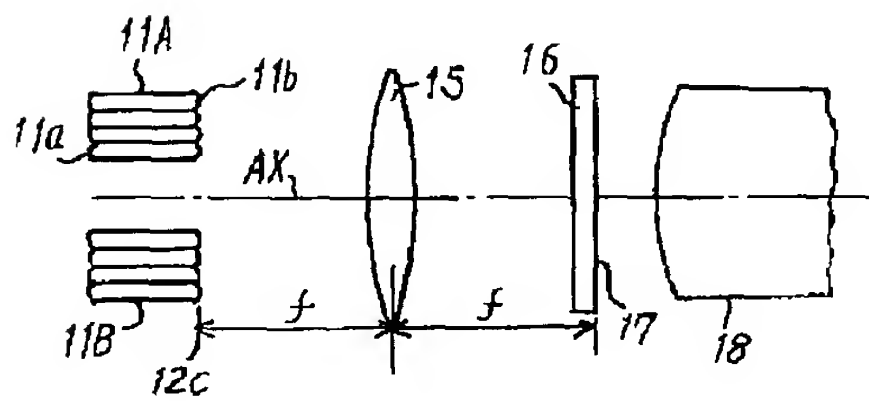
【図7】



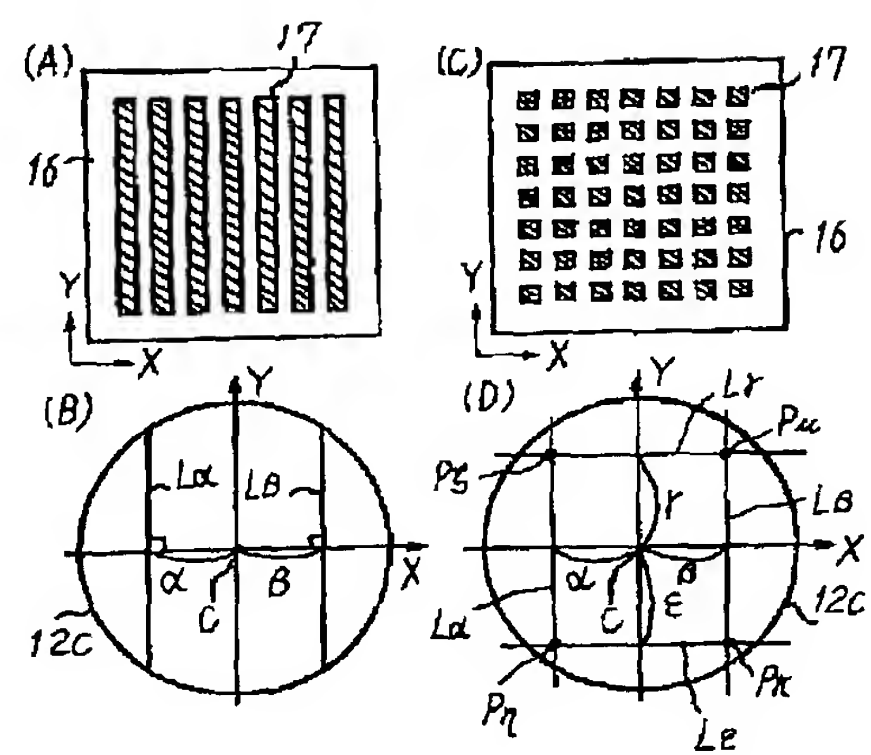
【図9】



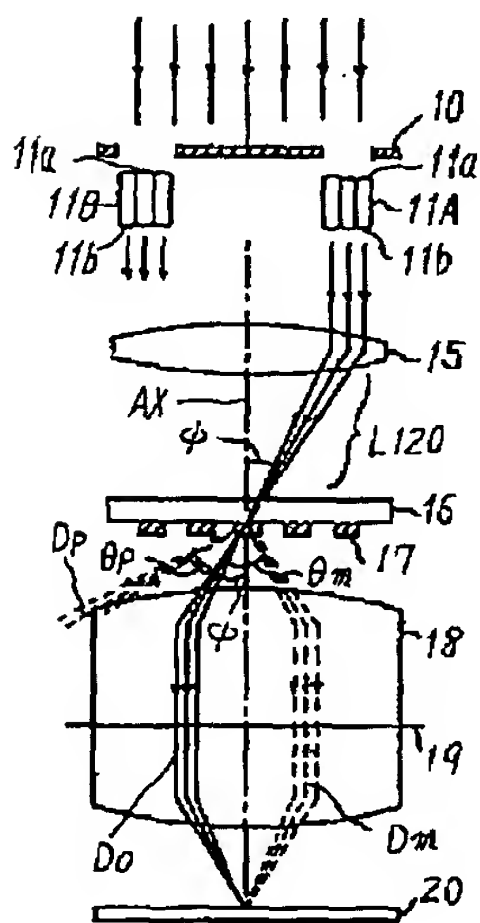
【図10】



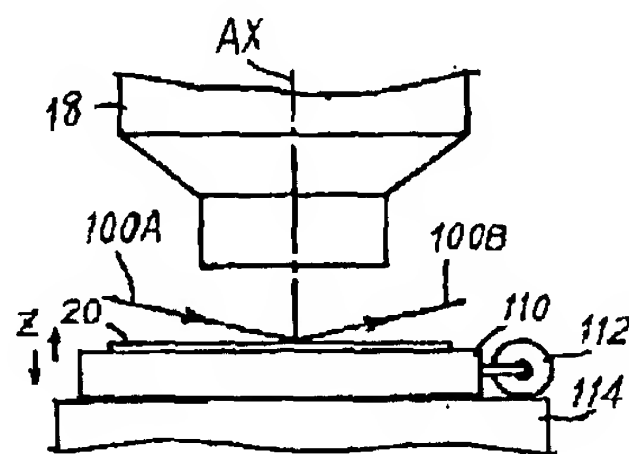
【図11】



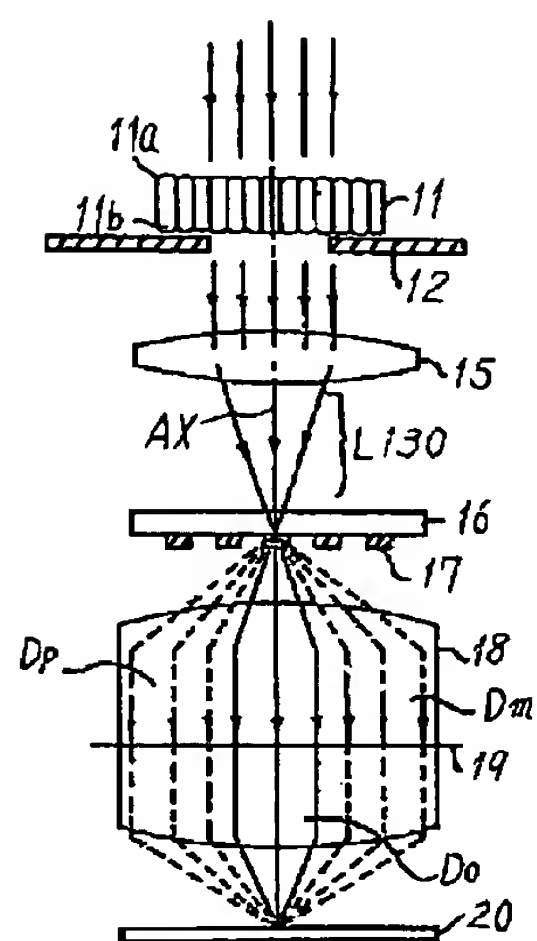
【図12】



【図14】



【図13】



【図15】

